

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-182952

(43)Date of publication of application : 30.06.2000

(51)Int.Cl.

H01L 21/027  
G03F 7/20

(21)Application number : 11-281244

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 01.10.1999

(72)Inventor : SUMIYOSHI YUHEI

(30)Priority

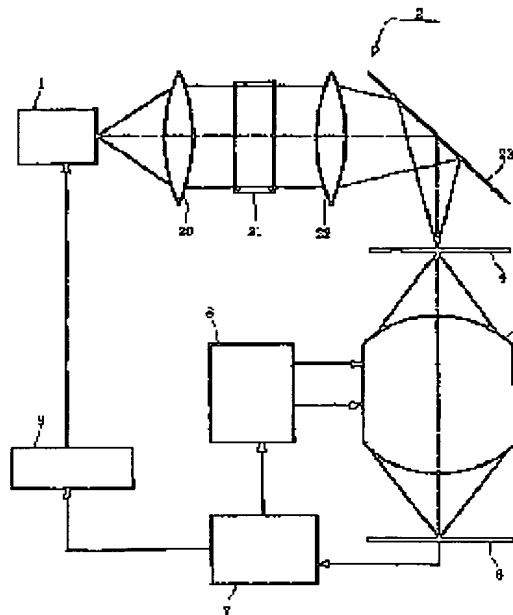
Priority number : 10299139 Priority date : 06.10.1998 Priority country : JP

## (54) PROJECTION ALIGNER AND MANUFACTURING DEVICE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve the optical performance by setting the variations of the projection magnification, the symmetric deformation aberration and the optical characteristic to specified values, and setting all the angles that two of three vectors mutually make to specified ranges, when a first, second and third parameters of a projection optical system are changed.

**SOLUTION:** The image forming condition of a pattern image of a reticle 4 is monitored from picture data from image sensing elements to optically detect the variations  $\Delta\beta 1$ - $\Delta\beta 3$  of the max. image height due to the variation magnification change of the max. image height with the projection magnification variation, the variations  $\Delta SD 1$ - $\Delta SD 3$  of the symmetric deformation aberration, and the variations  $\Delta A 1$ - $\Delta A 3$  of the optical characteristics when a first, second and third parameters of a projection optical system 5 are changed. All the angles in two of detected three vectors ( $\Delta\beta 1$ ,  $\Delta SD 1$ ,  $\Delta A 1$ ), ( $\Delta\beta 2$ ,  $\Delta SD 2$ ,  $\Delta A 2$ ), ( $\Delta\beta 3$ ,  $\Delta SD 3$ ,  $\Delta A 3$ ) are set to 30-150°.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 09.11.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 03.04.2001

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-182952

(P2000-182952A)

(43) 公開日 平成12年6月30日 (2000. 6. 30)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード\* (参考)

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 6 A

G 0 3 F 7/20

5 0 2

G 0 3 F 7/20

5 0 2

H 0 1 L 21/30

5 1 5 D

審査請求 有 請求項の数11 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平11-281244

(22) 出願日 平成11年10月1日 (1999. 10. 1)

(31) 優先権主張番号 特願平10-299139

(32) 優先日 平成10年10月6日 (1998. 10. 6)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 住吉 雄平

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ

ノン株式会社内

(74) 代理人 100086818

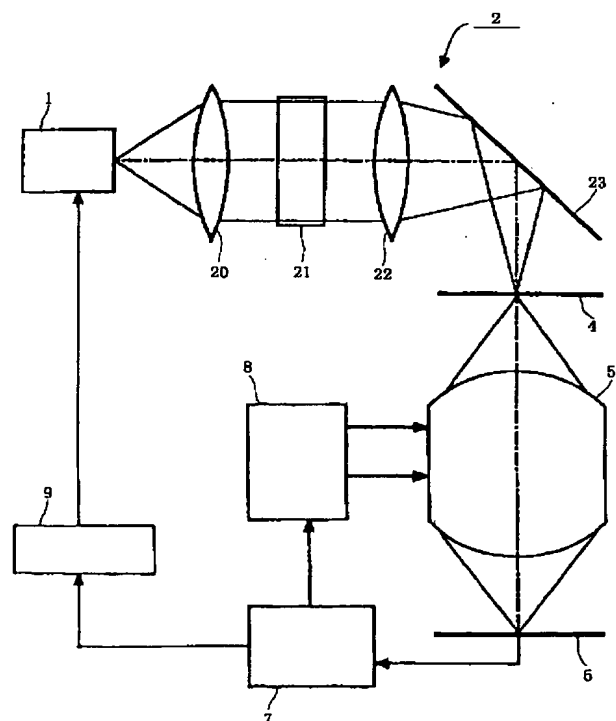
弁理士 高梨 幸雄

(54) 【発明の名称】 投影露光装置及びデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 レチクル面上のパターンをウエハ面上に投影する投影光学系の投影倍率誤差及び歪曲収差そしてその他の諸収差を補正し、高集積度の半導体デバイスが得られる投影露光装置及びそれをを用いたデバイスの製造方法を得ること。

【解決手段】 露光光で第1物体面上のパターンを第2物体面に投影する投影光学系を有する投影露光装置において、該投影光学系を構成する少なくとも2つのレンズ群を光軸方向に独立に移動させるとともに、該露光光の波長を変えることにより該第2物体面上に投影されるパターンの投影倍率及び歪曲収差を調整し、その他の諸収差のうちの1つ以上の収差が変化しないか又は変化量が少なくなるように調整すること。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 投影光学系の投影倍率と対称歪曲収差とこれら以外のある光学特性とを調節する機能を有する投影露光装置であって：前記投影光学系の第1の光学パラメータを変える第1変更手段；前記投影光学系の第2の光学パラメータを変える第2変更手段；及び前記投影光学系の第3の光学パラメータを変える第3変更手段、とを有し、

ここで、前記第1の光学パラメータを変えたときの、前記投影倍率の変化量を $\Delta\beta 1$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 1$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 1$ 、前記第2の光学パラメータを変えたときの、前記投影倍率の変化量を $\Delta\beta 2$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 2$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 2$ 、前記第3の光学パラメータを変えたときの、前記投影倍率の変化量を $\Delta\beta 3$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 3$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 3$ 、としたとき、3つのベクトル( $\Delta\beta 1, \Delta SD 1, \Delta A 1$ )、( $\Delta\beta 2, \Delta SD 2, \Delta A 2$ )、( $\Delta\beta 3, \Delta SD 3, \Delta A 3$ )のうちの2つが互いに成す角がすべて $30^\circ$ 以上 $150^\circ$ 以下であることを特徴とする投影露光装置。ここで、上記各変化量は、実際の変化量を各変更手段による最大変化量で規格化した値である。

【請求項2】 投影光学系の投影倍率と対称歪曲収差とこれら以外のある光学特性とを調節する機能を有する投影露光装置であって：前記投影光学系の第1の光学素子の光軸方向位置を変える第1変更手段；前記投影光学系の第2の光学素子の光軸方向位置を変える第2変更手段；及び前記投影光学系に入射する露光光の波長を変える第3変更手段、とを有し、

ここで、前記第1の光学素子の光軸方向位置を変えたときの、前記投影倍率の変化量を $\Delta\beta 1$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 1$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 1$ 、前記第2の光学素子の光軸方向位置を変えたときの、前記投影倍率の変化量を $\Delta\beta 2$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 2$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 2$ 、前記露光光の波長を変えたときの、前記投影倍率の変化量を $\Delta\beta 3$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 3$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 3$ 、としたとき、3つのベクトル( $\Delta\beta 1, \Delta SD 1, \Delta A 1$ )、( $\Delta\beta 2, \Delta SD 2, \Delta A 2$ )、( $\Delta\beta 3, \Delta SD 3, \Delta A 3$ )のうちの2つが互いに成す角がすべて $30^\circ$ 以上 $150^\circ$ 以下であることを特徴とする投影露光

装置。ここで、上記各変化量は、実際の変化量を各変更手段による最大変化量で規格化した値である。

【請求項3】 投影光学系の投影倍率と対称歪曲収差とコマ収差とを調節する機能を有する投影露光装置であって：前記投影光学系の第1の光学パラメータを変える第1変更手段；前記投影光学系の第2の光学パラメータを変える第2変更手段；及び前記投影光学系の第3の光学パラメータを変える第3変更手段、とを有し、

ここで、前記第1の光学パラメータを変えたときの、前記投影倍率の変化量を $\Delta\beta 1$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 1$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 1$ 、前記第2の光学パラメータを変えたときの、前記投影倍率の変化量を $\Delta\beta 2$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 2$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 2$ 、前記第3の光学パラメータを変えたときの、前記投影倍率の変化量を $\Delta\beta 3$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 3$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 3$ 、としたとき、3つのベクトル( $\Delta\beta 1, \Delta SD 1, \Delta A 1$ )、( $\Delta\beta 2, \Delta SD 2, \Delta A 2$ )、( $\Delta\beta 3, \Delta SD 3, \Delta A 3$ )のうちの2つが互いに成す角がすべて $30^\circ$ 以上 $150^\circ$ 以下であることを特徴とする投影露光装置。ここで、上記各変化量は、実際の変化量を各変更手段による最大変化量で規格化した値である。

【請求項4】 投影光学系の投影倍率と対称歪曲収差とコマ収差とを調節する機能を有する投影露光装置であって：前記投影光学系の第1の光学素子の光軸方向位置を変える第1変更手段；前記投影光学系の第2の光学素子の光軸方向位置を変える第2変更手段；及び前記投影光学系に入射する露光光の波長を変える第3変更手段、とを有し、

ここで、前記第1の光学素子の光軸方向位置を変えたときの、前記投影倍率の変化に伴う最大像高の変化量を $\Delta\beta 1$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 1$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 1$ 、前記第2の光学素子の光軸方向位置を変えたときの、前記投影倍率の変化に伴う最大像高の変化量を $\Delta\beta 2$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 2$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 2$ 、前記露光光の波長を変えたときの、前記投影倍率の変化に伴う最大像高の変化量を $\Delta\beta 3$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 3$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 3$ 、としたとき、3つのベクトル( $\Delta\beta 1, \Delta SD 1, \Delta A 1$ )、( $\Delta\beta 2, \Delta SD 2, \Delta A 2$ )、( $\Delta\beta 3, \Delta SD 3, \Delta A 3$ )のうちの2つが互いに成す角がすべて $30^\circ$ 以上 $150^\circ$ 以下であることを特徴とする投影露光

装置。ここで、上記各変化量は、実際の変化量を各変更手段による最大変化量で規格化した値である。

【請求項5】 請求項1から4のいずれか1項の投影露光装置によりレチクルのデバイスパターンをウエハ上に露光する段階と、該露光したウエハを現像する段階とを含むことを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項6】 前記投影光学系の光学素子がレンズ等の屈折素子のみより構成してあることを特徴とする請求項5に記載のデバイス製造方法。

【請求項7】 前記投影光学系の光学素子がレンズ等の屈折素子と鏡等反射素子により構成してあることを特徴とする請求項5に記載のデバイス製造方法。

【請求項8】 前記投影光学系に入射する露光光の波長が365nm、248nm、193nm、157nmのいずれかであることを特徴とする請求項5に記載のデバイス製造方法。

【請求項9】 波長248nm、193nmまたは157nmの遠紫外線を発するエキシマレーザを備えることを特徴とする請求項8のデバイス製造方法。

【請求項10】 照明光学系の有効光源の形状の変更に応じて前記露光光の波長を好ましい値に変えることを特徴とする請求項9に記載のデバイス製造方法。

【請求項11】 照明光学系の有効光源の形状の変更に応じて前記投影倍率と対称歪曲収差のそれぞれを好ましい値に変えることを特徴とする請求項10に記載のデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法に関し、具体的にはデバイスの製造装置である所謂ステップアンドリビート方式やステップアンドスキャン形式のステッパーにおいて、レチクル面上の電子回路パターンをウエハ面上に投影光学系により投影するときの投影倍率誤差、歪曲収差、球面収差、コマ収差、非点収差等の諸収差を良好に補正し、高精度な投影パターンを得て高集積度のデバイスを得る際に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】従来よりIC、LSI等の半導体素子（デバイス）製造用の焼付装置（アライナー）においては、非常に高い組立精度と光学性能が要求されている。

【0003】光学性能のうち電子回路パターンが形成されているレチクルとウエハを重ね合わせる際のマッチング精度は特に重要である。レチクルに用いられるパターン寸法は年々微細化されており、それに伴いマッチング精度も、ますます高精度なものが要求されている。このマッチング精度に最も影響を与える要素に、投影光学系の投影倍率誤差と歪曲誤差がある。

【0004】投影倍率誤差は投影光学系の投影倍率（横倍率）の基準値からのずれであり、歪曲誤差は投影光学

系の歪曲収差(distortion)の基準値からのずれである。この投影倍率誤差及び歪曲誤差はどちらも、所望の基準格子点と投影パターンの格子点の差として現れる。

【0005】投影光学系に投影倍率誤差が存在すると、図5のように、理想的な格子の形状が変わらずに相似形のままその大きさが変化するような誤差として現れる。

【0006】また、投影光学形に対称歪曲収差が存在すると、図6、図7のように理想的な格子が、糸巻き型や樽型の変形を伴う誤差として現れる。この収差が変化して歪曲誤差が生じると、この変形状態も変化する。

【0007】投影光学系の投影倍率誤差及び歪曲誤差は、製造工程上の投影光学系の調整及び露光装置の設置時の投影光学系の調整により補正されているが、設置後も周囲の環境、特に気圧や温度によって変化する。また、投影光学系はウエハの露光時に露光エネルギーを吸収し、系の温度が上がることにより光学パラメータ（例えば屈折率、形状）が変化し、これによっても投影倍率誤差と歪曲誤差が生じ、その量も変化する。

【0008】ステッパーにおける投影倍率誤差や歪曲誤差の補正に関する従来技術には以下のようなものがある。

【0009】本出願人は特開平 2-81019号公報において、レチクル（物体面）と投影光学系との間隔及び投影光学系を構成するあるレンズ同志の間隔の双方を変化させることにより投影倍率誤差及び歪曲誤差を補正した投影露光装置を提案している。

【0010】特開昭60-214334号公報が示す露光装置では、投影光学系に倍率の色収差が残存することを利用して、露光光の波長を変化させることにより投影倍率を調整している。

【0011】特開平4-30411号公報が示す露光装置では投影光学系中の少なくとも1個のレンズ群を光軸方向に動かし、かつ露光光の波長を変化させることで、投影倍率誤差および対称歪曲誤差を補正している。

【0012】特開平8-255748号公報では投影光学系中の特定の2群以上の光学素子を光軸方向に移動することにより、投影倍率誤差および対称歪曲誤差を補正している。

【0013】米国特許第5,117,255号ではレチクルまたは投影光学系中の少なくとも1つのレンズを3次的に動かすことにより、歪曲収差を調整している。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】投影倍率誤差および歪曲収差を補正した際に投影光学系の諸収差がそれぞれ変化する。このような収差変化のうち、許容量が最も小さく、問題となるのはコマ収差である。投影光学系に許容量を越えるコマ収差が残存した場合、投影される回路パターンが横ずれする現象が現れ、しかも横ずれ量がパターンサイズやパターンの方向に依存するという、いわゆる「ディストーションの周波数依存性」が現れる。これ

は、横ずれ量であるため、複数のマスクパターンの最終的な重ね合わせ（トータルオーバーレイ）に直接影響するので、厳しく管理されなければならない。

【0015】本発明は、高い光学性能が容易に得られ、高集積度のデバイスが容易に製造することのできる投影露光装置及びデバイス製造方法の提供を目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明の投影露光装置は、投影光学系の投影倍率と対称歪曲収差とこれら以外のある光学特性とを調節する機能を有する投影露光装置であって：前記投影光学系の第1の光学パラメータを変える第1変更手段；前記投影光学系の第2の光学パラメータを変える第2変更手段；及び前記投影光学系の第3の光学パラメータを変える第3変更手段、とを有し、ここで、前記第1の光学パラメータを変えたときの、前記投影倍率の変化に伴う最大像高の変化量を $\Delta\beta 1$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 1$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 1$ 、前記第2の光学パラメータを変えたときの、前記投影倍率の変化に伴う最大像高の変化量を $\Delta\beta 2$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 2$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 2$ 、前記第3の光学パラメータを変えたときの、前記投影倍率の変化に伴う最大像高の変化量を $\Delta\beta 3$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 3$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 3$ 、としたとき、3つのベクトル $(\Delta\beta 1, \Delta SD 1, \Delta A 1)$ 、 $(\Delta\beta 2, \Delta SD 2, \Delta A 2)$ 、 $(\Delta\beta 3, \Delta SD 3, \Delta A 3)$ のうちの2つが互いに成す角がすべて $30^\circ$ 以上 $150^\circ$ 以下であることを特徴としている。ここで、上記各変化量は、実際の変化量を各変更手段による最大変化量で規格化した値である。

【0017】請求項2の発明の投影露光装置は、投影光学系の投影倍率と対称歪曲収差とこれら以外のある光学特性とを調節する機能を有する投影露光装置であって：前記投影光学系の第1の光学素子の光軸方向位置を変える第1変更手段；前記投影光学系の第2の光学素子の光軸方向位置を変える第2変更手段；及び前記投影光学系に入射する露光光の波長を変える第3変更手段、とを有し、ここで、前記第1の光学素子の光軸方向位置を変えたときの、前記投影倍率の変化に伴う最大像高の変化量を $\Delta\beta 1$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 1$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 1$ 、前記第2の光学素子の光軸方向位置を変えたときの、前記投影倍率の変化に伴う最大像高の変化量を $\Delta\beta 2$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 2$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 2$ 、前記露光光の波長を変えたときの、前記投影倍率の変化に伴う最大像高の変化量を $\Delta\beta 3$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 3$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 3$ 、としたとき、3つのベクトル $(\Delta\beta 1, \Delta SD 1, \Delta A 1)$ 、 $(\Delta\beta 2, \Delta SD 2, \Delta A 2)$ 、 $(\Delta\beta 3, \Delta SD 3, \Delta A 3)$ のうちの2つが互いに成す角がすべて $30^\circ$ 以上 $150^\circ$ 以下であることを特徴としている。ここで、上記各変化量は、実際の変化量を各変更手段による最大変化量で規格化した値である。

$50^\circ$ 以下であることを特徴としている。ここで、上記各変化量は、実際の変化量を各変更手段による最大変化量で規格化した値である。

【0018】請求項3の発明の投影露光装置は、投影光学系の投影倍率と対称歪曲収差とコマ収差とを調節する機能を有する投影露光装置であって：前記投影光学系の第1の光学パラメータを変える第1変更手段；前記投影光学系の第2の光学パラメータを変える第2変更手段；及び前記投影光学系の第3の光学パラメータを変える第3変更手段、とを有し、ここで、前記第1の光学パラメータを変えたときの、前記投影倍率の変化に伴う最大像高の変化量を $\Delta\beta 1$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 1$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 1$ 、前記第2の光学パラメータを変えたときの、前記投影倍率の変化に伴う最大像高の変化量を $\Delta\beta 2$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 2$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 2$ 、前記第3の光学パラメータを変えたときの、前記投影倍率の変化に伴う最大像高の変化量を $\Delta\beta 3$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 3$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 3$ 、としたとき、3つのベクトル $(\Delta\beta 1, \Delta SD 1, \Delta A 1)$ 、 $(\Delta\beta 2, \Delta SD 2, \Delta A 2)$ 、 $(\Delta\beta 3, \Delta SD 3, \Delta A 3)$ のうちの2つが互いに成す角がすべて $30^\circ$ 以上 $150^\circ$ 以下であることを特徴としている。ここで、上記各変化量は、実際の変化量を各変更手段による最大変化量で規格化した値である。

【0019】請求項4の発明の投影露光装置は、投影光学系の投影倍率と対称歪曲収差とコマ収差とを調節する機能を有する投影露光装置であって：前記投影光学系の第1の光学素子の光軸方向位置を変える第1変更手段；前記投影光学系の第2の光学素子の光軸方向位置を変える第2変更手段；及び前記投影光学系に入射する露光光の波長を変える第3変更手段、とを有し、ここで、前記第1の光学素子の光軸方向位置を変えたときの、前記投影倍率の変化に伴う最大像高の変化量を $\Delta\beta 1$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 1$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 1$ 、前記第2の光学素子の光軸方向位置を変えたときの、前記投影倍率の変化に伴う最大像高の変化量を $\Delta\beta 2$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 2$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 2$ 、前記露光光の波長を変えたときの、前記投影倍率の変化に伴う最大像高の変化量を $\Delta\beta 3$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 3$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 3$ 、としたとき、3つのベクトル $(\Delta\beta 1, \Delta SD 1, \Delta A 1)$ 、 $(\Delta\beta 2, \Delta SD 2, \Delta A 2)$ 、 $(\Delta\beta 3, \Delta SD 3, \Delta A 3)$ のうちの2つが互いに成す角がすべて $30^\circ$ 以上 $150^\circ$ 以下であることを特徴としている。ここで、上記各変化量は、実際の変化量を各変更手段による最大変化量で規格化した値である。

【0020】請求項5の発明のデバイス製造方法は請求項1から4のいずれか1項の投影露光装置によりレチク

ルのデバイスパターンをウエハ上に露光する段階と、該露光したウエハを現像する段階とを含むことを特徴としている。

【0021】請求項6の発明は請求項5の発明において、前記投影光学系の光学素子がレンズ等の屈折素子のみより構成してあることを特徴としている。

【0022】請求項7の発明は請求項5の発明において、前記投影光学系の光学素子がレンズ等の屈折素子と鏡等反射素子により構成してあることを特徴としている。

【0023】請求項8の発明は請求項5の発明において、前記投影光学系に入射する露光光の波長が365nm、248nm、193nm、157nmのいずれかであることを特徴としている。

【0024】請求項9の発明は請求項8の発明において、波長248nm、193nmまたは157nmの遠紫外線を発するエキシマレーザを備えることを特徴としている。

【0025】請求項10の発明は請求項9の発明において、照明光学系の有効光源の形状の変更に応じて前記露光光の波長を好ましい値に変えることを特徴としている。

【0026】請求項11の発明は請求項10の発明において、照明光学系の有効光源の形状の変更に応じて前記投影倍率と対称歪曲収差のそれぞれを好ましい値に変えることを特徴としている。

【0027】

【発明の実施の形態】図1は本発明の投影露光装置の実施形態1の要部概略図である。

【0028】図中、1はインジェクションロックした又はインジェクションロックしていない、共振機器内部に分光素子を設けて狭帯域化したエキシマレーザ等の露光光源である。2は照明光学系であり、コリメーターレンズ20、オブティカルインテグレート21、コンデンサーレンズ22、折り曲げミラー23等を有している。照明光学系2は、レチクル4面上を均一に照明し、それによって、ウエハ6面上での光の照度分布が均一になるようにしている。レチクル4にはIC、LSI等の微細な電子回路パターンが形成されている。投影光学系5はレチクル4の電子回路パターンをウエハ6面上に所定の縮小倍率で投影している。

【0029】7は光学特性検出手段であり、この検出手段はウエハ6の位置にウエハ6の代りに例えば2次元撮像素子（不図示）からなる光電変換手段を配設し、この撮像素子上にレチクル4の回路パターンや格子点検出用の格子パターンを投影し、この撮像素子からの画像データによってレチクル4のパターン像の結像状態をモニタすることにより、投影光学系5の投影倍率（誤差）、球面収差、コマ収差、非点収差、歪曲収差（誤差）等を光電的に検出している。

【0030】8は第1補正手段であり、検出手段7からの出力信号に基づいて投影光学系5を構成する各レンズ群のうちの所定の複数、例えば2つのレンズ群を光軸上の所望の位置へ移動させている。尚、各レンズ群は1つ又は複数のレンズより成る。

【0031】9は第2補正手段であり、検出手段7からの信号に基づいて光源1の発振波長を変化させている。

【0032】本実施形態では光源1であるエキシマレーザ（例えば、KrFエキシマレーザ、ArFエキシマレーザ、F2エキシマレーザ）におけるプリズムやエタロンやグレーティング等の前述の分光素子を駆動してそれらの姿勢を変えることによって光源1の発振波長を変化させて、そこからの露光光の波長を変更する。

【0033】本実施形態は投影光学系中のレンズ群のうちの適切な2つのレンズ群の光軸上移動させて、それらの位置を調整すると共に光源1の発振波長も変化させてその値を調整することにより、投影光学系の投影倍率と歪曲収差に加え、他の諸収差を調整している。この調整によって、投影光学系の投影倍率誤差と歪曲誤差を、他の諸収差を問題が生じないようにあまり変化させないで、良好に補正している。

【0034】本実施形態における第1補正手段8はレンズ駆動手段から成っている。

【0035】レンズ駆動手段としては、例えばレンズ群を保持する移動鏡筒を、エアベアリングガイドで案内する形にしておいて駆動圧源のエア圧力によって移動鏡筒を光軸方向に移動させる手段や、ピエゾ素子に適当な電圧を印加して移動鏡筒を移動させる手段等が適用可能である。

【0036】本実施形態では検出手段7により、撮像素子上に形成されたパターン像の画像処理を行うことによりパターン像を解析し、解析結果に基づいて第1補正手段8にレンズ群の駆動量に対応する信号を入力し、及び／又は補正手段9に発振波長を変えるための波長変化の信号を入力する方式を用いているが、この他の方法として投影光学系の周囲の温度、気圧、湿度等の変動をそれぞれに対応するセンサーで検出してこれらの変動値に基づいて補正手段8によりレンズ群を駆動し、又波長可変手段9で波長を変化させる方法を用いてもよい。

【0037】本実施形態の投影露光装置は、投影光学系の投影倍率と対称歪曲収差とこれら以外のある光学特性とを調節するために、前記光学系の第1の光学パラメータを変える第1変更手段；前記光学系の第2の光学パラメータを変える第2変更手段；及び前記光学系の第3の光学パラメータを変える第3変更手段を有し、前記第1の光学パラメータを変えたときの、前記投影倍率の変化量を $\Delta\beta 1$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 1$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A 1$ 、前記第2の光学パラメータを変えたときの、前記投影倍率の変化量を $\Delta\beta 2$ 、前記対称歪曲収差の変化量を $\Delta SD 2$ 、前記光学特性の変

化量を $\Delta A2$ 、前記第3の光学パラメータを変えたときの  
前記投影倍率の変化量を $\Delta \beta 3$ 、前記対称歪曲収差の  
変化量を $\Delta SD3$ 、前記光学特性の変化量を $\Delta A3$ 、と  
したとき、3つのベクトル( $\Delta \beta 1, \Delta SD1, \Delta A1$ )、( $\Delta \beta 2, \Delta SD2, \Delta A2$ )、( $\Delta \beta 3, \Delta SD3, \Delta A3$ )のうちの2つが互いに成す角がすべて3  
0°以上150°以下である。ここで、上記各変化量  
は、実際の変化量を各変更手段による最大変化量で規格  
化した値である。

【0038】2つのベクトルが互いになす角度 $\theta$ の計算  
には下記の(1)式を用いた。2つのベクトル $V1, V2$ を $V1=(X1, Y1, Z1)$ 、 $V2=(X2, Y2, Z2)$ とすると、

【0039】

【数1】

$$\cos \theta = \frac{X1 \cdot X2 + Y1 \cdot Y2 + Z1 \cdot Z2}{\sqrt{X1^2 + Y1^2 + Z1^2} \cdot \sqrt{X2^2 + Y2^2 + Z2^2}} \quad (1)$$

【0040】本実施形態の好ましい形態では、前記第1  
変更手段が第1のレンズなどの第1の光学素子の光軸方  
向位置を変え、前記第2変更手段が第2のレンズなどの  
第2の光学素子の光軸方向位置を変え、前記第3変更手  
段が前記光学系に入射するエキシマレーザ光などの露光  
光の波長を変える。また、本発明のこの好ましい形態で  
は、前記光学系の前記他の光学特性として少なくともコ  
マ収差を有している。

【0041】次に本実施形態における投影光学系の投影  
倍率、歪曲収差、そして他の諸収差の具体的な調整方法  
について説明する。

【0042】本実施形態では、「第1のレンズ群を光軸  
方向に移動すること」と「第2のレンズ群を光軸方向に  
移動すること」と「露光波長を変化させること」を有し  
ており、少なくとも3つの要素を変化させている。その  
際の投影光学系の光学特性の制御の手法は、以下の2つ  
がある。

【0043】(第1の手法) 投影倍率誤差および歪曲収  
差を補正する際の他の収差変化のうち、少なくとも1  
つ、とくにコマ収差変化を0にする。

$$\Delta \beta = \Delta \beta 1 \cdot S1 + \Delta \beta 2 \cdot S2 + \Delta \beta w \cdot W \cdots (4-1)$$

$$\Delta SD = \Delta SD1 \cdot S1 + \Delta SD2 \cdot S2 + \Delta SDw \cdot W \cdots (4-2)$$

$$\Delta SA = \Delta SA1 \cdot S1 + \Delta SA2 \cdot S2 + \Delta SAw \cdot W \cdots (4-3)$$

$$\Delta CM = \Delta CM1 \cdot S1 + \Delta CM2 \cdot S2 + \Delta CMw \cdot W \cdots (4-4)$$

$$\Delta FC = \Delta FC1 \cdot S1 + \Delta FC2 \cdot S2 + \Delta FCw \cdot W \cdots (4-5)$$

(本発明の第1の手法) 投影倍率誤差および歪曲誤差を  
補正する際の他の収差変化のうち1つの量、例えば、コ  
マ収差の変化を0に(または任意の小さな値に)する場  
合(球面収差や像面湾曲の場合でも手法は同じであ  
る)。

$$\Delta \beta = \Delta \beta 1 \cdot S1 + \Delta \beta 2 \cdot S2 + \Delta \beta w \cdot W \cdots (4-1)$$

$$\Delta SD = \Delta SD1 \cdot S1 + \Delta SD2 \cdot S2 + \Delta SDw \cdot W \cdots (4-2)$$

$$\Delta CM = \Delta CM1 \cdot S1 + \Delta CM2 \cdot S2 + \Delta CMw \cdot W \cdots (4-4)$$

【0044】(第2の手法) 投影倍率誤差および歪曲誤  
差を補正する際、他の収差変化のうち、少なくとも2  
つ、とくにコマ収差変化および像面湾曲変化を最小にす  
ること。

【0045】本投影露光装置は、これら2つの手法のそ  
れぞれを行なうモードを有し、ユーザーが適宜どちらか  
一方を選択できる。

【0046】つまり、ここでは、投影倍率誤差と歪曲誤  
差を補正すると共に、これら以外の収差変化をも積極的  
に補正あるいは最小化している。

【0047】なお、2つのレンズ群の駆動ではなく、2  
箇所のレンズ間の気体の屈折率を変化(圧力変化、温度  
変化)させる手段を用いて同様のことを行うことができ  
る。

【0048】次に前述の(第1の手法)および(第2の  
手法)について具体的に説明する。

【0049】投影光学系のある光学ユニットGiを光軸方  
向に駆動量(長さ)Siだけ移動したときの

投影倍率の変化量  $\Delta \beta i \cdots (2-1)$

歪曲収差の変化量  $\Delta SDi \cdots (2-2)$

球面収差の変化量  $\Delta Sai \cdots (2-3)$

コマ収差の変化量  $\Delta CMi \cdots (2-4)$

像面湾曲の変化量  $\Delta Fci \cdots (2-5)$

とする。また、露光光の波長(発振波長)を微小量Wだ  
け変化させたときの収差変化をそれぞれ

投影倍率の変化量  $\Delta \beta w \cdots (3-1)$

歪曲収差の変化量  $\Delta SDw \cdots (3-2)$

球面収差の変化量  $\Delta Saw \cdots (3-3)$

コマ収差の変化量  $\Delta CMw \cdots (3-4)$

像面湾曲の変化量  $\Delta FCw \cdots (3-5)$

とする。

【0050】unitG1とunitG2の2群を光軸方向にそれぞ  
れ長さS1, S2だけ動かし、さらに、波長をWだけ変化さ  
せたときの各収差の変化量を添字なしで表すと、以下の  
関係式が成立する。

【0051】

【0052】2つのunitが長さS1, S2だけ移動し、波長  
がWだけシフトしたときの $\beta$ 、SD、CMの変化量は次の(4  
-1)、(4-2)、(4-4)式で表される。

【0053】

これらの式を逆に解くことにより、駆動量 $S1, S2$ と波長シフト量 $W$ が求められる。変数3つ( $S1, S2, W$ )に対し式3つなので解は1つに定まる。すなわち、所望の補正量 $\Delta\beta$ 、 $\Delta SD$ 、 $\Delta CM$ だけ補正するための駆動量 $S1, S2$ と波長シフト量 $W$ が定まる。また、そのときの他の収差(ここでは球面収差と像面湾曲)の変化量は、(4-3)、(4-5)式に $S1, S2, W$ を代入することで与えられる。

【0054】すなわち、 $\beta$ 、 $SD$ に加えてもう一つのパラメーター(ここではコマ収差)を適正な値に調整することができる。

【0055】なお、各要素を変化させたときの投影光学系のフォーカス位置の変化は、ウエハを保持するZステージを光軸方向に移動することで補償される。これは、各要素を変化させたときのフォーカス位置変化効き率を露光装置内にテーブルとして持っていて、それに基づいて計算されたフォーカス位置変化量だけステージを移動する方法でもよいし、各要素を変化させた直後に、露光装置に搭載されたTTLオートフォーカス計測系を用いて投影光学系のフォーカス位置を計測し、その計測結果に基づいてZステージを移動させてウエハをフォーカス位置へアライメントしてもよい。

【0056】この(第1の手法)は、以下のように実施すると効果的である。

【0057】まず、投影倍率誤差および歪曲収差を調整した際に発生するコマ収差変化を完全に0にする。先にも述べたように昨今、コマ収差に対する許容量が厳しくなっており、これは効果がある。この場合、 $\Delta CM = 0$ として上記の式を解けばよい。

【0058】また、別の使用法として、投影露光装置の照明モード(通常照明や輪帯照明や4重極照明等)を変更したときのコマ収差の調整に使用するというのが挙げられる。

【0059】照明モードを変更したときに、投影倍率誤差および歪曲収差が変化することが知られているが、その主な原因は、投影光学系に残存したコマ収差であることが明らかになった。また、照明モードを変更したときに現像後のレジストパターンの非対称エラーいわゆるコマ特性が変化することも分かっており、これも同じく残存コマ収差によるものである。

【0060】さらに、投影光学系に残存したコマ収差は、投影倍率(誤差)や歪曲収差(誤差)が、レチクルの電子回路パターンのサイズによって変化するという、いわゆる、「ディストーションの周波数依存性」の原因になることも分かっており、コマ収差は投影光学系に残存しないようできるだけ厳しく抑えられるべきものである。

【0061】また、投影光学系に残存コマ収差がある場合でも、コマ収差を調整することができれば、照明モードごとに最適なコマ収差量を選択することによって、照明モードを変更したときの投影倍率誤差、歪曲収差の変

化(歪曲誤差)、コマ特性変化を最小に調整することができ、効果的である。

【0062】このようなコマ収差調整に本発明の方法を使用する場合には、 $\Delta CM$ を所望の値(当然0も含む)とし、 $\Delta\beta = \Delta SD = 0$ として上記の式を解けばよい。また、コマ収差を調整すると同時に投影倍率と、歪曲収差を調整する場合は、 $\Delta\beta$ 、 $\Delta SD$ にも所望の補正量を入れて解けばよい。

【0063】照明モードごとのコマ収差調整に本発明を使用する場合、照明モードごとの最適なコマ収差量を露光装置内のメモリにテーブルとして持っていて、照明モードを変更したときにそのテーブルの照明モード対コマ収差量の情報に基づいて各光学要素を変化させる形式が適用可能である。

【0064】また、照明モードを変更した時に、レチクルのデバイスパターンやテスト用パターンの空中像を観察や計測したりあるいはウエハ上に焼きつけられたデバイスパターンやテスト用パターンの現像パターン(レジストパターン)を計測することにより、コマ収差を計測し、その情報に基づいてコマ収差を補正する形式が適用可能である。

【0065】(本発明の第2の手法)投影倍率誤差および歪曲収差を補正する際の他の収差変化のうち2つ以上の量、例えばここではコマ収差変化量と像面湾曲の変化量、を最小にする場合(他の異なる2つ以上の収差の組み合わせの場合でも手法は同じである)。

【0066】(4-1)、(4-2)式より、駆動量 $S1, S2$ を波長シフト量 $W$ を用いて表すことができる。すなわち、

$$S1 = A1 \cdot W + B1 \cdots (5-1)$$

$$S2 = A2 \cdot W + B2 \cdots (5-2)$$

ただしここで

$$A1 = (\Delta\beta_2 \cdot \Delta SD_W - \Delta\beta_W \cdot \Delta SD_2) / (\Delta\beta_1 \cdot \Delta SD_2 - \Delta\beta_2 \cdot \Delta SD_1)$$

$$A2 = (\Delta\beta_1 \cdot \Delta SD_W - \Delta\beta_W \cdot \Delta SD_1) / (\Delta\beta_2 \cdot \Delta SD_1 - \Delta\beta_1 \cdot \Delta SD_2)$$

$$B1 = (\Delta\beta \cdot \Delta SD_2 - \Delta\beta_2 \cdot \Delta SD) / (\Delta\beta_1 \cdot \Delta SD_2 - \Delta\beta_2 \cdot \Delta SD_1)$$

$$B2 = (\Delta\beta \cdot \Delta SD_1 - \Delta\beta_1 \cdot \Delta SD) / (\Delta\beta_2 \cdot \Delta SD_1 - \Delta\beta_1 \cdot \Delta SD_2)$$

この式を(4-4)、(4-5)式に代入すると、 $\Delta CM$ 、 $\Delta FC$ を $W$ の1次関数で表すことができる。すなわち、

$$\Delta CM = C1 \cdot W + D1 \cdots (6-1)$$

$$\Delta FC = C2 \cdot W + D2 \cdots (6-2)$$

ただしここで

$$C1 = A1 \cdot \Delta CM_1 + A2 \cdot \Delta CM_2 + \Delta CM_W$$

$$C2 = A1 \cdot \Delta FC_1 + A2 \cdot \Delta FC_2 + \Delta FC_W$$

$$D1 = B1 \cdot \Delta CM_1 + B2 \cdot \Delta CM_2$$

$$D2 = B1 \cdot \Delta FC_1 + B2 \cdot \Delta FC_2$$

ここで、 $\varepsilon = (\Delta CM^2 + \Delta FC^2)$ なる評価量 $\varepsilon$ を導入する。この量が最小になるように $W$ の値を決めると、



$$W = -(C1 \cdot D1 + C2 \cdot D2) / (C1^2 + C2^2) \dots (7)$$

となり、このWの値を(5-1)と(5-2)式に代入することによりS1, S2が決まる。このS1, S2, Wは、投影倍率を $\Delta\beta$ だけ変化させ、歪曲収差を $\Delta SD$ だけ変化させ、かつ他の収差変化の自乗和 $\epsilon$ を最小にする組み合わせである。言い換えると、この補正方法を用いることにより、投影倍率および歪曲収差を所望の量だけ補正しつつ、同時に、それに伴い発生する2つ以上の収差変化を最小に抑えることができる。

【0067】最小化する収差の数が3つ以上の場合も同様の考え方を用いて定式化できる。また、各要素を変化させたときの投影光学系のフォーカス位置の変化は、ウエハを保持するZステージを光軸方向に移動することで補償される。これは(第1の手法)と同様である。

【0068】この(第2の手法)の補正方法を用いることにより、投影倍率誤差および歪曲収差を補正したときの他の収差変化が小さく抑えられるので、投影倍率、歪曲収差の補正量がある程度確保した上で、回路の微細化に伴うコマ収差などの他収差変化許容量の減少にも対応可能となる。また、投影光学系の設計面でも有利になる。

【0069】なお、この補正方法を用いる場合には、最小化する収差の変化量の比、すなわち、 $\Delta C_{Mi} / \Delta F_{Ci}$  ( $i=1, 2, w$ )の値が近い光学要素の組み合わせを選ぶと、高い効果が得られる。または、投影光学系の設計時に近い値になるよう配慮する。

【0070】図2は本実施形態1の投影光学系5のレンズ断面図である。本実施形態では露光光として波長248nmに対し収差補正をしている。この波長は、KrFエキシマレーザの発振波長である。

【0071】同図において、Rは電子回路パターンが形成されているレチクルで投影光学系のobject planeにあるG1~G16は投影光学系を構成するレンズである。また、Wはウエハであり、投影光学系の最良像面(image plane)に配置される。S<sub>1</sub>はレチクルRと投影光学系の第1レンズ面との距離、S<sub>k</sub>は投影光学系の最終レンズ面とウエハWとの距離を示している。

【0072】本実施形態における投影光学系の数値データを表1に示す。数値データにおいてR<sub>i</sub>は物体側より順に第i番目のレンズ面の曲率半径(mm)、D<sub>i</sub>は物体側より順に第i番目のレンズ面と第i+1番目のレンズ面との間

隔(mm)、N<sub>i</sub>は物体側より順に第i番目のレンズ面と第i+1番目のレンズ面の間の媒質の屈折率である。

【0073】また、表2には、表1のレンズデータを有する投影光学系において、レンズ群G1, G2を個別に光軸方向に50 $\mu$ m移動させ、レーザの発振波長を+10pmシフトさせた場合の、諸収差の変化量を示す。

【0074】

【表1】

NA 0.48  
最大物高 60mm  
レチクル~第1面 120mm  
露光波長 248nm

|     | R                    | D              | N       |
|-----|----------------------|----------------|---------|
| G1  | 2036.785<br>-233.211 | 17.48<br>0.50  | 1.50841 |
| G2  | 273.081<br>-470.487  | 19.22<br>54.29 | 1.50841 |
| G3  | 153.797<br>74.523    | 22.01<br>18.39 | 1.50841 |
| G4  | -164.712<br>-111.304 | 28.28<br>10.00 | 1.50841 |
| G5  | -89.910<br>116.514   | 8.00<br>18.90  | 1.50841 |
| G6  | -69.845<br>1182.011  | 8.00<br>46.87  | 1.50841 |
| G7  | -410.218<br>-137.953 | 24.00<br>0.50  | 1.50841 |
| G8  | 3547.161<br>-171.895 | 25.97<br>0.50  | 1.50841 |
| G9  | 371.704<br>-313.422  | 25.13<br>0.50  | 1.50841 |
| G10 | 249.898<br>986.296   | 13.97<br>13.48 | 1.50841 |
| G11 | 173.146<br>84.594    | 49.31<br>38.11 | 1.50841 |
| G12 | -117.818<br>-209.089 | 60.00<br>47.32 | 1.50841 |
| G13 | -77.303<br>-92.395   | 25.32<br>0.50  | 1.50841 |
| G14 | 502.276<br>-326.430  | 14.36<br>0.50  | 1.50841 |
| G15 | 207.310<br>-8569.419 | 14.25<br>0.50  | 1.50841 |
| G16 | 107.980<br>271.616   | 53.66<br>46.83 | 1.50841 |
| G17 | 56.290<br>78.166     | 18.35<br>15.00 | 1.50841 |

【0075】

【表2】

表2

|                   | $\Delta\beta$ | $\Delta SD$ | $\Delta SA$ | $\Delta CM$ | $\Delta FC$ |
|-------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| G1を+50 $\mu m$ 移動 | 90.4          | -85.7       | -0.029      | -0.006      | -0.003      |
| G2を+50 $\mu m$ 移動 | -12.7         | 74.9        | 0.022       | -0.022      | 0.083       |
| 波長を+10pmシフト       | -4.7          | -20.2       | 0.044       | -0.032      | 0.014       |

$\Delta\beta$  : 投影倍率の変化 (ppm)

$\Delta SD$  : 対称歪曲収差の変化による最軸外での像ズレの変化量 (nm)

$\Delta SA$  : 「軸上の波面収差の臨縁での値」の変化量( $\lambda$ )

$\Delta CM$  : 「最軸外の波面収差Meri方向臨縁両端の値の差の1/2」の変化量( $\lambda$ )

$\Delta FC$  : 「Meri方向最軸外のベストフォーカス」の変化量( $\mu m$ )

【0076】表2に挙げたデータから、まず、従来の2つのレンズ群の駆動による投影倍率誤差および歪曲収差を補正するシステム(従来方法)を考えてみる。

【0077】表2のデータに基づいて計算を行った結果、投影倍率を50ppm、歪曲収差を100nm補正する場合、

G1 42.2  $\mu m$

G2 103.7  $\mu m$

だけ2つのレンズ群を移動すると投影倍率誤差および歪曲収差が補正でき、そのときの他の各収差の変化量は以下ようになる。

【0078】球面収差変化量 0.021 $\lambda$

コマ収差変化量 -0.050 $\lambda$

像面湾曲変化量 0.170 $\mu m$

これよりコマ収差と像面湾曲が特に大きく変化していることが分かる。

【0079】次に、前述の2つの手法を本光学系に適用してみる。

【0080】(第1の手法)投影倍率誤差および歪曲収差を補正し、かつ、コマ収差変化を0にする。

【0081】表2のデータおよび(4-1)~(4-5)式に基づいて計算を行った結果、投影倍率を50ppm、歪曲収差を100nm補正する場合、

G1 35.9  $\mu m$

G2 81.4  $\mu m$

W -12.4 pm

だけ2つのレンズ群を移動させ且つ発振波長をシフトすると投影倍率および歪曲収差が補正でき、同時に、コマ収差変化量を0にできる。

【0082】そのときの他の各収差の変化量は以下ようになる。

【0083】球面収差変化量 -0.040  $\lambda$

像面湾曲変化量 0.116  $\mu m$

先の従来例では、-0.05  $\lambda$ 発生していたコマ収差変化が本発明では全く発生しない。このように、本発明では、投影倍率誤差および歪曲収差を補正した後の残りの収差のうち、少なくとも1つは0にすることができるという改善効果がある。

【0084】ここでは、コマ収差変化が0になるよう補正を行ったが、コマ収差変化が所望の値になるよう補正

を行うことも当然できる。

【0085】なお、ここではコマ収差変化を例に挙げて説明したが、球面収差や像面湾曲の場合も同様の手法によって補正できる。

【0086】また、この場合、波長を変化させたときの補正対象外の各収差変化、および、レンズ群を駆動したときの補正対象外の各収差変化はなるべく小さい方が望ましいのは言うまでもなく、通常、そのようなレンズ群を選んで補正系に使用する。あるいは、投影光学系の設計時に補正群は補正対象外の各収差変化が極力小さくなるよう最適化される。

【0087】また、駆動ストロークが大きくなると、前述のごとく、機械制御面での不具合が顕在化する怖れがあるのでこの場合も、各レンズ群を駆動したときの $\Delta\beta$ 、 $\Delta SD$ 、 $\Delta CM$ に対する効き率に配慮して補正系を構成する必要がある。具体的には、第*i*群(*i*は自然数)を駆動した時と発振波長を変化させた時の

投影倍率の変化量、 $\Delta\beta_i$ 、 $\Delta\beta_w$

歪曲収差の変化量、 $\Delta SD_i$ 、 $\Delta SD_w$

コマ収差の変化量、 $\Delta CM_i$ 、 $\Delta CM_w$

を成分とするベクトル( $\Delta\beta_1, \Delta SD_1, \Delta CM_1$ ), ( $\Delta\beta_2, \Delta SD_2, \Delta CM_2$ ), ( $\Delta\beta_w, \Delta SD_w, \Delta CM_w$ )を考え、これらのベクトルが互いになす角が0より十分大きく好ましくは30°以上150°以下となるように設計時に最適化するのが良い。

【0088】また、そのような群を選んで補正系に使用するのが良い。とくに、最大像高におけるこれらの3つのベクトルが互いに成す角はそれぞれ30°以上150°以下あることが望ましい。なお、この場合、 $\Delta\beta$ 、 $\Delta SD$ 、 $\Delta CM$ の3つを補正する場合について説明したが、同様の議論は、任意の3つの光学性能を補正する際にも適用できる。

【0089】ベクトルの各要素は、倍率、ディストーション、コマ収差等からなり、それぞれ単位がばらばらであり、数字のオーダが違いすぎるなどの不具合があるので、それぞれ各要素を、補正系で調整できる各要素の最大調整量(各要素の最大変化量)で規格化しておくのが合理的である。

【0090】本実施例のケースでは、ベクトルを構成する要素を $\Delta\beta$ 、 $\Delta SD$ 、 $\Delta CM$ とすると、3つのベクトル

( $\Delta\beta$ ,  $\Delta SD$ ,  $\Delta CM$ ) はそれぞれ以下のようになる (表2参照)。

【0091】・G1ベクトル: (90.4, -65.7, -0.006)

・G2ベクトル: (-12.7, 74.9, -0.022)

・波長ベクトル: (-4.7, -20.2, -0.032)

このままでは各要素の数字の桁に差がありすぎ、3つのベクトルが空間内に適切に配置しないので、 $\Delta\beta$ を50(ppm)、 $\Delta SD$ を150(nm)、 $\Delta CM$ を0.1(Å)で規格化する。

これらの値は、この補正系で調整する最大調整量であり、露光装置のスペックなどより決まる値である。

【0092】規格化した各ベクトルはそれぞれ、

・G1ベクトル: (1.808, -0.438, -0.060)

・G2ベクトル: (-0.254, 0.499, -0.220)

・波長ベクトル: (-0.094, -0.135, -0.320)

となり、このとき各ベクトルのなす角度は、それぞれ以下のように90°近辺の値になる。

【0093】

・G1ベクトルとG2ベクトルのなす角度: 126.4°

・G2ベクトルと波長ベクトルのなす角度: 82.8°

・波長ベクトルとG1ベクトルのなす角度: 97.9°

ここで、ベクトルが互いになす角度の計算には、前記(1)式を用いた。

【0094】(第2の手法) 投影倍率誤差および歪曲誤差を補正し、かつ、コマ収差変化および像面湾曲変化を最小にする。

【0095】表2のデータと(5)～(7)および(4)式に基づいて計算を行う。ただしここでは、最小化する評価量として、 $\varepsilon' = [(0.33 \cdot \Delta CM)^2 + (0.2 \cdot \Delta FC)^2]$ を用いた。 $\Delta CM$ と $\Delta FC$ の前に係数がかかっているところが、前述の $\varepsilon$ と異なるが、これは、コマ収差と像面湾曲のバランスをとって最小化を行うための重み係数である。

【0096】計算の結果、投影倍率を50ppm、歪曲収差を100nm補正する場合、

G1 31.9  $\mu m$

G2 67.4  $\mu m$

W -20.2 pm

だけ2つのレンズ群G1, G2を移動させ且つ発振波長をシフトすると投影倍率誤差および歪曲誤差が補正でき、同時に、コマ収差変化量、像面湾曲変化量を最小にすることができる。コマ収差および像面湾曲は

コマ収差変化量 0.032 Å

像面湾曲変化量 0.082  $\mu m$

だけ変化し、そのときの球面収差の変化量は以下のようになる。

【0097】球面収差変化量 -0.078 Å

先に示した(第1の手法)のように、コマ収差変化を完全に0にするというような劇的な効果はないが、従来例に比べて、コマ収差変化、像面湾曲変化とも減少し、投

影倍率誤差および歪曲収差を補正しても、良好な結像特性がほぼ保存される効果があることが分かる。

【0098】この場合、2つのレンズ群を光軸方向に移動したときに、投影倍率および歪曲収差以外の光学性能の変化が少ないようにしておき、投影倍率および歪曲収差は、主として2つのレンズ群の移動で調整し、その際に生じたその他の収差の変化を露光波長を変化させてさらに最小化するのが良い。この時、本実施例では、第1のレンズ群G1を変化させた時の

投影倍率の変化による最大像高の変化量を $\Delta\beta 1$

対称歪曲収差の変化による最大像高の変化量を $\Delta SD 1$ とし、他方の第2のレンズ群を移動させた時の

投影倍率の変化による最大像高の変化量を $\Delta\beta 2$

対称歪曲収差の変化による最大像高の変化量を $\Delta SD 2$

としたとき、

【0099】

【数2】

$$\cos \theta = \frac{\Delta\beta 1 \cdot \Delta\beta 2 + \Delta SD 1 \cdot \Delta SD 2}{\sqrt{\Delta\beta 1^2 + \Delta SD 1^2} \cdot \sqrt{\Delta\beta 2^2 + \Delta SD 2^2}} \quad (2)$$

【0100】で表される $\theta$ が、30°以上150°以下であるように投影光学系が構成してあり、これにより各移動レンズ群の機械的精度と駆動ストロークを最適化している。

【0101】なお、本実施例では、KrFエキシマレーザを露光光源(波長248nm)とする単一硝材で構成される投影レンズで説明を行ったが、複数種の硝材で構成された投影レンズにおいても同様の手法で補正を行うことができる。もちろん、露光光源もKrFエキシマレーザに限定されるものではなく、ArFエキシマレーザ(波長193nm)やF2レーザ(波長157nm)、超高圧水銀灯(i線: 波長365nm)などを露光光源とする投影露光装置にも適用可能なのは言うまでもない。

【0102】また、これらの実施例で述べてきた補正方法において、投影倍率誤差、歪曲誤差、コマ収差や像面湾曲などの変化量を得るために各種手段を利用できる。

【0103】具体的には、

・周囲の気圧を測定し、気圧の基準状態からの変化量に基づいて、投影倍率誤差、歪曲誤差(収差)、コマ収差、像面湾曲などの変化量を計算する手段

・投影光学系の温度を測定し、温度の基準状態からの変位量に基づいて、投影倍率誤差、歪曲誤差(収差)、コマ収差、像面湾曲などの変化を計算する手段

・一定時間ごとに露光/非露光の状態を監視して、その情報に基づいて、投影倍率誤差、歪曲誤差(収差)、コマ収差、像面湾曲などの変化を計算する手段

・レチクル上のパターンを投影光学系を介してウエハ上に焼きつけたレジスト像を計測し、それに基づいて、投影倍率誤差、歪曲誤差(収差)、コマ収差、像面湾曲などを測定する手段

・レチクル上のパターンを投影光学系による空中像を計測し、それに基づいて、投影倍率誤差、歪曲誤差（収差）、コマ収差、像面湾曲などを測定する手段  
 ・干渉計などを用いて投影光学系の波面収差を計測し、それに基づいて、投影倍率誤差、歪曲誤差（収差）、コマ収差、像面湾曲などを測定する手段  
 等である。

【0104】また、これらの手段を用いない例として、露光装置内のメモリに補正情報テーブルを持っており、その情報に基づいて補正を行う手法も次のような場合には有効である。

・照明モードごとに最適な投影倍率、歪曲収差、コマ収差、像面湾曲などの値をテーブルとして露光装置内に備えており、照明モードを変更する際に、そのテーブルの情報に基づいて、それらの補正を行っている。

【0105】以上のように本実施形態においては、前記投影光学系の光学素子をレンズ等の屈折素子のみより構成したり、前記投影光学系の光学素子をレンズ等の屈折素子と鏡など反射素子により構成したり、前記投影光学系に入射する露光光の波長を365nm、248nm、193nm、157nmのいずれかで構成したり、照明光学系の有効光源の形状の変更に応じて前記露光光の波長を好ましい値に変える構成としたり、更に照明光学系の有効光源の形状の変更に応じて前記投影倍率と対称歪曲収差のそれぞれを好ましい値に変える構成としたり、等、様々な形態を採れる。

【0106】本実施形態のデバイス製造方法は、このような構成の投影露光装置によりレチクルのデバイスパターンをウエハ上に露光する段階と、該露光したウエハを現像する段階とを含む。

【0107】次に上記説明した投影露光装置を利用した半導体デバイスの製造方法の実施形態を説明する。

【0108】図3は半導体デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、或いは液晶パネルやCCD等）の製造のフローを示す。

【0109】ステップ1（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行なう。ステップ2（マスク製作）では設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。

【0110】一方、ステップ3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、前記用意したマスクとウエハを用いてリソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。

【0111】次のステップ5（組立）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。

【0112】ステップ6（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト

等の検査を行なう。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

【0113】図4は上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ11（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。

【0114】ステップ13（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では前記説明した露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。

【0115】ステップ17（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ18（エッチング）では現像したレジスト以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）ではエッチングがすんで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行なうことによってウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0116】本実施形態の製造方法を用いれば、従来は製造が難しかった高集積度の半導体デバイスを容易に製造することができる。

【0117】

【発明の効果】本発明によれば、高い光学性能が容易に得られ、高集積度のデバイスが容易に製造することのできる投影露光装置及びデバイス製造方法を達成することができる。

【0118】特に本発明によれば、常に良好な光学性能を備えた露光装置を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の投影露光装置の実施例1の要部概略図

【図2】図1の投影光学系のレンズ断面図

【図3】本発明のデバイスの製造方法のフローチャート

【図4】本発明のデバイスの製造方法のフローチャート

【図5】投影光学系に投影倍率誤差があるときの投影パターンの説明図

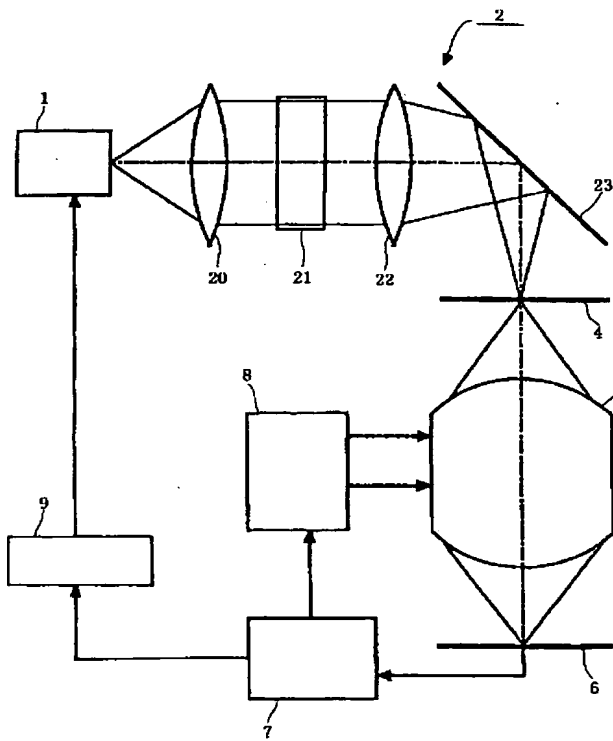
【図6】投影光学系に対称歪曲収差があるときの投影パターンの説明図

【図7】投影光学系に対称歪曲収差があるときの投影パターンの説明図

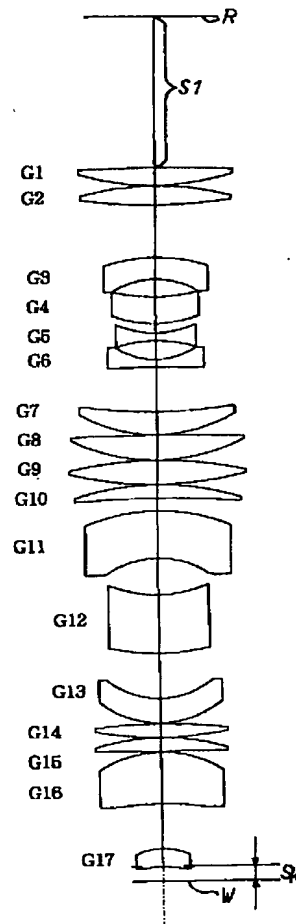
【符号の説明】

- 1 光源
  - 2 照明系
  - 3 ミラー
  - 4, R レチクル（第1物体）
  - 5 投影光学系
  - 6, W ウエハ（第2物体）
  - 7 検出手段
  - 8 補正手段
- G i (i = 1 ~ 14) レンズ群

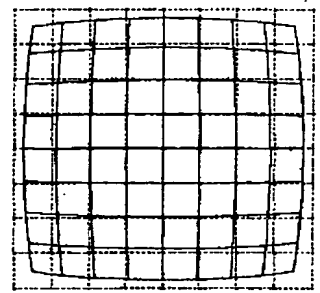
【図1】



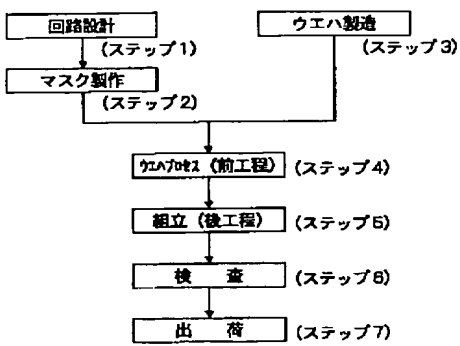
【図2】



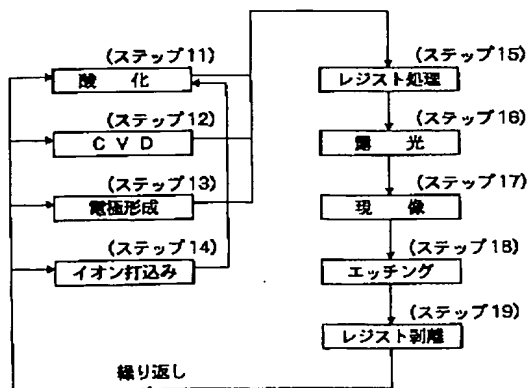
【図7】



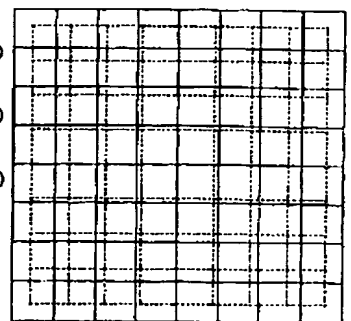
【図3】



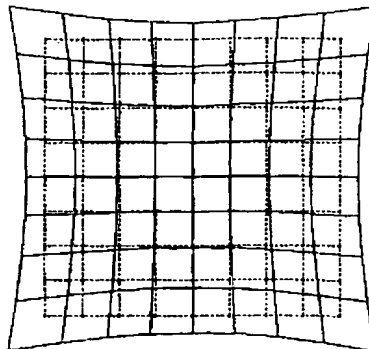
【図4】



【図5】



【図6】



【手続補正書】

【提出日】平成11年11月9日（1999.11.9）

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0036

【補正方法】変更

【補正内容】

【0036】本実施形態では検出手段7により、撮像素子上に形成されたパターン像の画像処理を行うことによ

りパターン像を解析し、解析結果に基づいて第1補正手段8にレンズ群の駆動量に対応する信号を入力し、及び／又は補正手段9に発振波長を変えるための波長変化の信号を入力する方式を用いているが、この他の方法として投影光学系の周囲の温度、気圧、湿度等の変動をそれぞれに対応するセンサーで検出してこれらの変動値に基づいて補正手段8によりレンズ群を駆動し、又補正手段9で波長を変化させる方法を用いてもよい。